

POWERED BY **Dialog**

Short duration pulsed laser - has a titanium sapphire crystal mounted on a heat sink to dissipate thermal energy

Patent Assignee: KRAUSZ F; SPIELMANN C; STINGL A

Inventors: KRAUSZ F; SPIELMANN C; STINGL A

Patent Family

Patent Number	Kind	Date	Application Number	Kind	Date	Week	Type
WO 9810494	A1	19980312	WO 97AT190	A	19970828	199817	B
AT 9601582	A	19990515	AT 961582	A	19960906	199924	
EP 923797	A1	19990623	EP 97937343	A	19970828	199929	
			WO 97AT190	A	19970828		
AT 405992	B	19991115	AT 961582	A	19960906	199953	
EP 923797	B1	20001011	EP 97937343	A	19970828	200052	
			WO 97AT190	A	19970828		
DE 59702467	G	20001116	DE 502467	A	19970828	200060	
			EP 97937343	A	19970828		
			WO 97AT190	A	19970828		
JP 2000517478	W	20001226	WO 97AT190	A	19970828	200104	
			JP 98512042	A	19970828		
US 6345061	B1	20020205	WO 97AT190	A	19970828	200211	
			US 99254335	A	19990305		

Priority Applications (Number Kind Date): AT 961582 A (19960906)

Patent Details

Patent	Kind	Language	Page	Main IPC	Filing Notes
WO 9810494	A1	E	29	H01S-003/042	
Designated States (National): JP US					
Designated States (Regional): AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE					
AT 9601582	A			H01S-003/042	
EP 923797	A1	G		H01S-003/042	Based on patent WO 9810494
Designated States (Regional): DE FR GB IT					
AT 405992	B			H01S-003/042	Previous Publ. patent AT 9601582
EP 923797	B1	G		H01S-003/042	Based on patent WO 9810494
Designated States (Regional): DE FR GB IT					

BEST AVAILABLE COPY

DE 59702467	G			H01S-003/042	Based on patent EP 923797
					Based on patent WO 9810494
JP 2000517478	W		25	H01S-003/042	Based on patent WO 9810494
US 6345061	B1			H01S-003/04	Based on patent WO 9810494

Abstract:

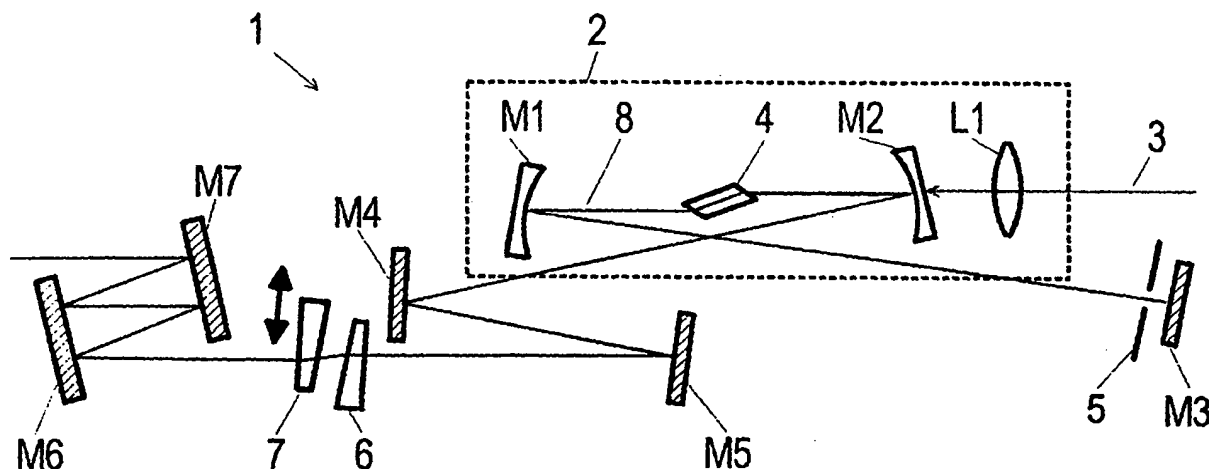
WO 9810494 A

A short pulse laser device [1] with passive mode locking has a resonator fed with a pumping beam [3], a laser crystal [4], eg a titanium sapphire crystal and laser mirrors [M1-M7]. The crystal is mounted on a heat sink to dissipate the heat energy generated and the laser beam passes through a hole. A wafer type mount of copper is used to improve the dissipation.

USE - pulsed lasers

ADVANTAGE - improved heat energy dissipation for crystal

Dwg. 1/9



Derwent World Patents Index

© 2005 Derwent Information Ltd. All rights reserved.

Dialog® File Number 351 Accession Number 11777037

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1582/96

(51) Int.Cl.⁷ : **H01S 3/042**

(22) Anmeldetag: 6. 9.1996

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 5.1999

(45) Ausgabetag: 25. 1.2000

(56) Entgegenhaltungen:

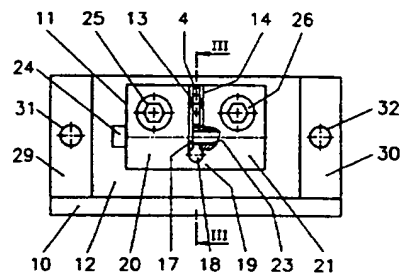
US 5079772A US 4710332A
STINGL ET AL. "GENERATION OF 11-FS PULSES FROM A
TI:SAPPHIRE LASER WITHOUT THE USE OF PRISMS", OPTICS
LETTERS 1. FEBRUAR 1994, VOL. 19, NR. 3, S. 204-206

(73) Patentinhaber:

STINGL ANDREAS DIPL.ING.
A-2100 KORNEUBURG, NIEDERÖSTERREICH (AT).
SPIELMANN CHRISTIAN DIPL.ING. DR.
A-2100 KORNEUBURG, NIEDERÖSTERREICH (AT).
KRAUSZ FERENC DR.
A-2100 KORNEUBURG, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) KURZPULS-LASERVORRICHTUNG MIT PASSIVER MODENVERKOPPLUNG

(57) Kurzpuls-Laservorrichtung (1) mit passiver Modenverkopplung, mit einem Laserresonator, dem ein Pumpstrahl (3) zugeführt wird, mit einem Laserkristall (4), insbesondere einem Titan-Saphir(Ti:S-)Laserkristall, und mit Laserspiegeln (M1-M7), wobei der Laserkristall (4), der zufolge der Strahlfokussierung einer Wärmebelastung ausgesetzt ist, an einem der Wärmeableitung dienenden Kühlkörper (10) montiert ist, der eine Bohrung (13) für den Durchgang des Laserstrahls (3; 8) aufweist, und an dem zur verbesserten Wärmeabfuhr eine plättchenförmige Kristallfassung (11) aus gut wärmeleitendem Material, vorzugsweise Kupfer, angebracht ist, wobei der Laserkristall (4) in einer Öffnung (14) dieser Kristallfassung (11), unter seitlicher Anlage an gegenüberliegenden Wänden (15, 16) der Öffnung (14) der Kristallfassung (11), gehalten ist und die Öffnung (14) in der Kristallfassung (11) mit der Bohrung (13) im Kühlkörper (10) fluchtet.



Die Erfindung betrifft eine Kurzpuls-Laservorrichtung mit passiver Modenverkopplung, mit einem Laserresonator, dem ein Pumpstrahl zugeführt wird, mit einem Laserkristall, insbesondere einem Titan-Saphir-(Ti:S-)Laserkristall, und mit Laserspiegeln, wobei der Laserkristall, der zufolge der Strahlfokussierung einer Wärmebelastung ausgesetzt ist, an einem der Wärmeableitung dienenden Kühlkörper montiert ist, der eine Bohrung für den Durchgang des Laserstrahls aufweist.

Derartige Laservorrichtungen werden einerseits für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt, andererseits können sie bei der Materialbearbeitung Anwendung finden, insbesondere wenn feine Strukturen herzustellen sind.

Im modenverkopplten Zustand liefert ein Laser, anstatt ein kontinuierliches Laserlicht (cw-Betrieb - continuous work) abzugeben, Laserpulse, indem er Energie speichert und danach pulsartig abgibt. Die Periodendauer dieser Impulse entspricht im allgemeinen der Umlaufzeit der Pulse im Laserresonator, wobei beispielsweise bei einer Länge des linearen Resonators von 2 m Pulse mit einer Frequenz von ca. 75 MHz erzeugt werden; der Laserlichtpuls durchläuft dabei den Laserresonator in beiden Richtungen, was also im vorliegenden Beispiel einer Länge von 4 m entspricht. Zur Modenverkopplung wird periodisch (mit der Resonatorumlauf Frequenz) - etwa durch Abblocken oder Ablenken des Laserstrahls - ein Verlust in der Leistung des Lasers eingeführt, z.B. dadurch, daß ein elektrooptischer Modulator den Laserstrahl periodisch aus seiner Ausbreitungsrichtung ablenkt; dadurch gibt es ein Zeitfenster, in dem der Laserstrahl aus dem Resonator hinausgelenkt wird, und ein Zeitfenster, in dem sich der Laserstrahl im Resonator ungehindert ausbreiten kann. Demgemäß wird der Laser veranlaßt, daß er zu pulsen beginnt. Das führt zu einer Spitzenleistung der Pulse, die wesentlich größer ist (z.B. 100 kW bis 200 kW) als die Ausgangsleistung (z.B. 150 mW bis 300 mW) des Lasers im cw-Betrieb.

Grundsätzlich kann zwischen zwei Arten der Modenverkopplung unterschieden werden:

Bei der aktiven Modenverkopplung wird mit einem aktiven Element, einem Modulator, der von außen über einen Treiber mit Energie versorgt wird, ein periodischer Verlust eingeführt. Damit wird der Laser gezwungen, seine Lasertätigkeit in den Zeitintervallen auszuüben, in denen ein geringer Verlust gegeben ist, wogegen der Laser in den Zeitintervallen, in denen hohe Verluste gegeben sind, Energie speichern kann.

Bei der passiven Modenverkopplung wird der Effekt einer optischen Nichtlinearität im Resonator ausgenutzt, d.h. es wird ein optisch nicht-lineares Element im Weg des Laserstrahls angeordnet, welches proportional zur Intensität des Laserstrahls seine optischen Eigenschaften, wie die Transmission oder Reflektivität, ändert. Beispielsweise kann als nicht-lineares Element der Laserkristall selbst verwendet werden, der einen sog. sättigbaren Absorber bildet, bei dem der Verlust immer kleiner wird, je höher die Intensität des auftretenden Laserlichtes ist. Durch eine Fluktuation in der Laserleistung entsteht ein Puls, der einen wesentlich geringeren Verlust "sieht" als der Laser im cw-Betrieb (vgl. auch US-5 079 772 A). Der Laserkörper (Festkörperlaser) besteht aus einem nichtlinearen Material, dessen optische Dicke mit der Feldstärkeverteilung der Laserstrahlung variiert. Beispielsweise ist der nicht-lineare Brechungsindex eine Funktion des Quadrates der Feldstärke, d.h. der Laserstrahl, dessen Feldstärkeverteilung entsprechend einer Gauß-Kurve angenommen werden kann, "sieht" im Falle eines an sich planparallelen Flächen aufweisenden Laserkristalls effektiv ein Element mit einer sich über den Querschnitt ändernden optischen Dicke. Auf diese Weise entsteht aus einer planparallelen Nichtlinearität eine Fokussierungslinse.

Dieser optische Kerr-Effekt kann auf zwei Arten zur Modenverkopplung (sog. "Kerr-lens mode-locking") genutzt werden: im Fall der sog. "weichen Blende" (siehe Spence et al., Optics Letters, 1. Jänner 1991, Vol.16, S. 42-44) wird der Pumpstrahl (bei Ti:S-Lasern ("S" = "Saphir") wird die Energie mittels grünem Laser, wie z.B. Argonlaser, zugeführt) sehr stark in den Laserkristall fokussiert, so daß der Resonatorstrahl, der durch den Ti:S-Laser erzeugt wird (ca. 800 nm, infrarot), dann die meiste Pumpenergie aufnehmen kann, d.h. die höchste Verstärkung erfährt, wenn er den geringsten Durchmesser besitzt. Je höher somit die Intensität bzw. die Feldstärke des Pulses ist, desto stärker wird der Laserpuls fokussiert, und desto mehr wird er bei jedem Durchlaufen des Laserkristalls verstärkt, wodurch wiederum seine Intensität erhöht wird. Diese positive Rückkopplung führt zu einer stabilen Modenverkopplung.

Im Fall der sog. "harten Blende" (s. z.B. US-5 079 772 A) wird der Effekt ausgenutzt, daß eine Blende den Resonatorstrahl an einer Stelle einschneidet, wo er zu dem Zeitpunkt einen größeren Durchmesser aufweist, wenn die Intensität (Feldstärke) geringer ist, und zu dem Zeitpunkt einen kleineren Durchmesser aufweist, wenn die Intensität größer ist und der Resonatorstrahl somit im Laserkristall fokussiert wird.

Andere passive Modenverkopplungstechniken, wie z.B. Halbleiter-sättigbare Absorber, sind ebenfalls bekannt, s. z.B. R.Fluck et al., "Broadband saturable absorber for 10-fs pulse generation", Optics Letters, 15.Mai 1996, Vol.21, Nr.10, S. 743 - 745.

Um extrem kurze und somit hochintensive Pulse (im Femtosekundenbereich) zu erzeugen, ist es notwendig, die Gruppendiffusion im Resonator zu kontrollieren. Da Pulse, die im Zeitbereich besonders

kurz sind, im Frequenzbereich ein breites Spektrum besitzen, tritt der unangenehme Effekt auf, daß im Laserkristall die verschiedenen Frequenzkomponenten einen unterschiedlichen Brechungsindex und somit eine unterschiedliche optische Länge des Laserkristalls "sehen" und dadurch beim Durchlaufen des Laserkristalls unterschiedlich verzögert werden. Somit werden die Pulse wieder verlängert. Um dem entgegenzuwirken, kann an sich durch eine Anordnung von optischen Prismen der Strahl frequenzmäßig aufgefächert werden; die verschiedenen Frequenzkomponenten legen unterschiedlich lange Wege zurück, und in einem weiteren Prisma wird der Strahl wieder kollimiert (parallelgerichtet). Das hat zur Folge, daß die unterschiedlichen Frequenzkomponenten gerade umgekehrt verzögert werden wie im Laserkristall, wodurch die Dispersion, die im Laserkristall eingeführt wird, wieder kompensiert wird (vgl. US 5 079 772 A).

Gemäß einem anderen Vorschlag (z.B. Stingl et al. "Generation of 11-fs pulses from a Ti:sapphire laser without the use of prisms", Optics Letters, 1. Februar 1994, Vol. 19, Nr.3, S. 204 - 206) kommen spezielle Laserspiegel zum Einsatz, die aus vielen (> 40) Schichten aufgebaut sind, wobei die verschiedenen Wellenlängenkomponenten unterschiedlich tief in den Spiegel eindringen, bevor sie reflektiert werden. Demgemäß werden die verschiedenen Wellenlängenkomponenten des Laserstrahls unterschiedlich lang im Spiegel verzögert; die kurzwelligen Anteile werden an der Oberfläche reflektiert, wogegen die langwelligen Anteile erst tiefer im Spiegel reflektiert werden und somit gegenüber den kurzwelligen Anteilen eine Verzögerung erfahren. Der Vorteil der letzteren Methode ist eine bessere Dispersionskompensation, wodurch extrem kurze Pulse direkt aus einem Resonator erzeugt werden können.

Unabhängig von der im einzelnen verwendeten Dispersionskompensationstechnik ist es für die Dispersionskontrolle, um extrem kurze Laserpulse (in der Größenordnung von 10 fs und darunter) zu erzeugen, auch wichtig, die Materialdispersion - vor allem im Laserkristall - niedrig zu halten, und hierfür ist es zweckmäßig, einen dünnen, d.h. kurzen Laserkristall (d.i. ein Laserkristall mit kurzer Weglänge) zu verwenden. Zum Ausgleich sollte der Laserkristall eine hohe Dotierung aufweisen (z.B. absorbiert er schon innerhalb von 2 mm über 70% der Leistung). Um die Pumpschwelle möglichst niedrig zu halten und somit eine effiziente Umwandlung von Pumpleistung in Laser-Ausgangsleistung zu gewährleisten, sollten der Pumpstrahl und der Resonatorstrahl möglichst stark fokussiert werden. Die stark reduzierten Dimensionen des gepumpten Volumens des Laserkristalls führen dadurch zu einer erhöhten Wärmebelastung.

Es ist somit Ziel der Erfindung, eine Laservorrichtung der eingangs angeführten Art zu schaffen, bei der eine verbesserte Wärmeableitung für den Laserkristall vorgesehen wird, so daß eine erhöhte Wärmebelastung des Laserkristalls - bei vergleichsweise kleinen Abmessungen desselben - und in der Folge eine Erhöhung der Ausgangsleistung ermöglicht wird.

Die erfindungsgemäße Laservorrichtung der eingangs angeführten Art ist demgemäß dadurch gekennzeichnet, daß am Kühlkörper eine Kristallfassung aus gut wärmeleitendem Material vorgesehen und der Laserkristall in einer Öffnung dieser Kristallfassung, unter seitlicher Anlage an gegenüberliegenden Wänden der Öffnung der Kristallfassung, gehalten ist, wobei die Öffnung in der Kristallfassung mit der Bohrung im Kühlkörper fluchtet.

Im Gegensatz zu Dauerstrich-Festkörperlasern, in denen Kristalle mit einer Länge von 5 bis 10 cm zum Einsatz kommen, und zu herkömmlichen Femtosekunden-Festkörperlasern, die einen Kristall mit einer Länge von 10 bis 20 mm, mit einem Querschnitt von 4×4 mm oder größer, verwenden, können bei dieser Ausbildung Laserkristalle mit einer Länge von einigen wenigen mm und mit außerordentlich kleinem Querschnitt, in der Größenordnung von beispielsweise 1 mm^2 , eingesetzt werden, wobei in der Folge auch extrem kurze Laserpulse (unter 10 fs) erzeugt werden können. Dies bringt nicht nur eine Reduktion der Kosten des Laserkristalls selbst mit sich, sondern ermöglicht in Verbindung mit der angegebenen Kristallfassung, die eine hohe Wärmeleitfähigkeit hat, eine wirksame Ableitung der Wärme aus dem Laserkristall. Dabei ist auch wesentlich, daß durch die kleinen Laserkristall-Abmessungen der Weg im Laserkristall für die Wärmeabfuhr vom im Mittenbereich befindlichen gepumpten Volumen des Laserkristalls (beispielsweise mit einem Durchmesser von ungefähr 10 bis 50 μm) zu den Flächen der Kristallfassung stark verkürzt wird. Die Kristallfassung selbst überträgt die Wärme zum Kühlkörper, dessen Temperatur beispielsweise auf 10°C gehalten wird. Diese Temperaturkontrolle am Kühlkörper ist technisch gut beherrschbar (wobei allerdings bei einem Abkühlen unter die genannte Temperatur Kondensationsprobleme auftreten können). Üblicherweise besteht der Kühlkörper aus Aluminium. Durch die Reduktion der Temperatur im Kristallinneren kann die Ausgangsleistung des PulsLasers verbessert werden. Dies hängt unter anderem damit zusammen, daß die Lebensdauer der Elektronen im oberen Laserniveau mit zunehmender Temperatur im Laserkristall abnimmt. Versuche unter Verwendung von Ti:S-Laserkristallen haben gezeigt, daß bei Einsatz der erfindungsgemäß vorgesehenen Kristallfassung gegenüber früheren Ausführungen mit Kühlkörper eine bis zu 20%ige Leistungssteigerung erzielt werden konnte. Aus der Natur der passiven Modenverkopplung folgt, daß aufgrund der erhöhten Ausgangsleistung - bei gleicher Pumpleistung - eine weitere Pulsverkürzung zu erreichen ist.

Um eine Justierung des Laserkristalls in der Kristallfassung möglichst einfach bewerkstelligen zu können, ist es von besonderem Vorteil, wenn die insbesondere plättchenförmige Kristallfassung mit einer schlitzförmigen Öffnung ausgebildet ist. Bei dieser Ausführungsform kann der Laserkristall innerhalb der schlitzförmigen Öffnung an der gewünschten Stelle exakt positioniert werden. Um dabei auch ein Einschieben und Positionieren des Laserkristalls vom Rand der Kristallfassung her zu ermöglichen, ist es weiters
 5 günstig, wenn sich die schlitzförmige Öffnung von einem Rand der Kristallfassung her in diese erstreckt. Bei dieser Ausführung kann der Laserstrahl auch am oder nahe dem Rand der Kristallfassung angeordnet werden. Weiters hat es sich für ein Festklemmen des Laserkristalls in der Öffnung ohne besondere zusätzliche Mittel als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn sich die schlitzförmige Öffnung bis knapp vor
 10 dem gegenüberliegenden Rand der plättchenförmigen Kristallfassung erstreckt und das dort verbleibende Material der Kristallfassung ein gering verschwenkbares Gelenk in der Art eines Scharniers bildet, wobei die beiden durch die schlitzförmige Öffnung voneinander getrennten Kristallfassungs-Hälften gegeneinander schwenkbare Schenkel bilden. Diese Schenkel klemmen den Laserkristall zwischen ihnen fest. Um dabei, wenn die Schenkel beim Einschieben des Laserkristalls aufgespreizt werden sollen, ein unerwünschtes
 15 Aufreißen des Steges zwischen den Schenkeln möglichst hintanzuhalten, ist es auch von Vorteil, wenn die Einschnitt-artige schlitzförmige Öffnung in einer verbreiterten Rundung endet.

Zum Aufbringen der Klemmkraft könnte an sich von außen her eine Druckkraft auf die beiden Schenkel ausgeübt werden, etwa durch eine Art Zwinke oder dergl. Einrichtung. Eine besonders einfache Form der Klemmkraftaufbringung ist jedoch möglich, wenn die Schenkel in einer Richtung quer zur schlitzförmigen
 20 Öffnung verlaufende Querbohrungen zum Aufnehmen eines die Schenkel gegeneinander verschwenkenden Spannelements besitzen. Hierbei ist in besonders vorteilhafter Weiterbildung vorgesehen, daß die Querbohrung im einen Schenkel eine glatte Durchbohrung mit Übermaß ist und die Querbohrung im anderen Schenkel mit einem Innengewinde versehen ist, und daß das Spannelement eine sich mit ihrem Schaft durch die glatte Durchbohrung des einen Schenkels frei hindurcherstreckende und in die Gewinde-Bohrung
 25 des anderen Schenkels eingeschraubte Spannschraube ist. Bei dieser Ausführungsform ist somit einfach eine Spann- oder Klemmschraube vorgesehen, durch deren Verdrehen die beiden Schenkel zusammenge-spannt oder auseinandergespreizt werden können, um den Laserkristall zwischen ihnen festzuklemmen oder aber freizugeben.

Um den in der Kristallfassung gehaltenen Laserkristall für eine Reinigung besser zugänglich zu machen, hat es sich auch als günstig erwiesen, wenn die Öffnung der Kristallfassung an der vom Kühlkörper
 30 abgewandten Seite einen abgeschrägten Rand aufweist, wobei der Laserkristall bis zur Abschrägung reicht.

Wie bereits erwähnt, ist die erfindungsgemäße Ausbildung insbesondere in Kombination mit vergleichsweise kleinen Laserkristallen zu verwenden, und es ist demgemäß von besonderem Vorteil, wenn der in der Öffnung der Kristallfassung gehaltene Laserkristall die Form eines Parallelepipeds mit Dickenabmessungen
 35 in der Größenordnung von ca. 1 mm und mit einer Länge von ca. 2 mm hat, wobei der Durchmesser des gepumpten Volumens in der Größenordnung von 10 μm liegt.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in der Zeichnung veranschaulichten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht eingeschränkt sein soll, noch weiter erläutert. Es zeigen im einzelnen: Fig.1 ein Schema einer Kurzpuls-Laservorrichtung; Fig.2 eine Draufsicht auf einen Kühlkörper samt Kühlfassung für
 40 den Laserkristall einer solchen Laservorrichtung, gemäß Pfeil II in Fig.3; Fig.3 einen Querschnitt durch den Kühlkörper und die Kristallfassung samt Laserkristall, gemäß der Linie III-III in Fig.2; Fig.4 eine Draufsicht auf den Kühlkörper ohne Kristallfassung; Fig.5 eine teilweise aufgebrochene Draufsicht auf die plättchenförmige Kristallfassung; Fig.6 eine Seitenansicht der Kristallfassung, gemäß Pfeil VI in Fig.5; Fig.7 schematisch eine Draufsicht auf den Laserkristall im in der nur teilweise dargestellten Kristallfassung eingeklemmten
 45 Zustand, zur Veranschaulichung der kurzen Wege bei der Wärmeableitung; Fig.8 zu Vergleichszwecken, in ungefähr vergleichbarem Maßstab, die Anordnung eines Laserkristalls in einem Kühlkörper gemäß früheren Laservorrichtungen; und Fig.9 in gegenüber Fig.2 noch weiter vergrößertem Maßstab eine Detaildarstellung des Bereiches der Öffnung in der Kristallfassung, zur Veranschaulichung von Indiumfolien-Zwischenlagen.

In Fig.1 ist schematisch eine Kurzpuls-Laservorrichtung 1 veranschaulicht, in der für die Kurzpulserzeugung das erwähnte "Kerr-lens mode-locking"-Prinzip und für die Dispersionskontrolle die erwähnten in
 50 Dünnschichttechnik realisierten Laserspiegel verwendet werden, wobei bei einer derartigen Laservorrichtung die Erfindung mit besonderem Vorteil angewendet werden kann.

Die Laservorrichtung 1 weist gemäß Fig.1 einen mit strichlierter Linie angedeuteten Laserkopf 2 auf, dem ein Pumpstrahl 3, z.B. ein Argonlaserstrahl, zugeführt wird. Der Pumplaser (z.B. Argonlaser) selbst ist
 55 der Einfachheit halber weggelassen und gehört dem Stand der Technik an.

Nach Durchlaufen einer Linse L1 und eines halbdurchlässigen Laserspiegels M2 durchläuft der Laserstrahl einen Laserkristall 4, im vorliegenden Beispiel einen Titan:Saphir(Ti:S)-Festkörperlaserkristall, wonach er auf einen Laserspiegel M1 auftrifft und von diesem zu einem Laserspiegel M3 außerhalb des

Laserkopfs 2, unter Durchqueren einer Blende 5 mit vertikalem Schlitz, reflektiert wird. Dieser Laserspiegel M3 reflektiert den Laserstrahl wieder zum Spiegel M1 zurück, von wo der Laserstrahl zum Laserspiegel M2 zurückreflektiert wird, wobei er den Laserkristall 4 ein zweites Mal durchläuft. Von dort wird der Laserstrahl dann über weitere Laserspiegel M4, M5, und einen halbdurchlässigen, keilförmigen Auskoppelspiegel 6 reflektiert, wodurch der Laserresonator gebildet ist. Über den Auskoppelspiegel 6 wird der Laserstrahl ferner ausgekoppelt, wobei ein Kompensationsplättchen 7 sowie Spiegel M6, M7 in Dünnschichttechnik für eine Dispersionskompensation sowie dafür sorgen, daß keine unerwünschten Reflexionen in Richtung Laserresonator auftreten. Der auf die beschriebene Weise im Laserkopf 2 erhaltene Resonatorstrahl ist mit 8 bezeichnet.

Der Laserkristall 4 ist ein planparalleler Körper (ein Parallelepiped), welcher optisch nicht-linear ist und ein Kerr-Element bildet, welches für höhere Feldstärken des Laserstrahls eine größere wirksamere optische Dicke besitzt, hingegen eine geringere wirksame Dicke aufweist, wo die Feldstärke bzw. Intensität des Laserstrahls geringer ist. Dieser an sich bekannte Kerreffekt wird zur Selbstfokussierung des Laserstrahls ausgenutzt, d.h. der Laserkristall 4 bildet für den Laserstrahl (Resonatorstrahl 8) eine Fokussierungslinse.

Zur Modenverkopplung wird weiters im gezeigten Ausführungsbeispiel die Blende 5 verwendet, die den Resonatorstrahl 8 an einer Stelle einschneidet, wo er dann, wenn die Intensität bzw. Feldstärke des fluktuierenden Laserstrahls geringer ist, einen größeren Durchmesser aufweist, hingegen dann, wenn die Intensität des Laserstrahls zufolge der Fluktuation größer ist, d.h. wenn der Resonatorstrahl im Laserkristall fokussiert wird, einen kleineren Durchmesser besitzt.

Die Spiegel M1 bis M7 sind in Dünnschichttechnik ausgeführt, d.h. sie sind je aus vielen Schichten aufgebaut, die bei der Reflexion des eine große Bandbreite aufweisenden ultrakurzen Laserpulses ihre Funktion ausüben. Die verschiedenen Wellenlängenkomponenten des Laserstrahls dringen unterschiedlich tief in die Schichten des jeweiligen Spiegels ein, bevor sie reflektiert werden. Dadurch werden die verschiedenen Wellenlängenkomponenten verschieden lang am jeweiligen Spiegel verzögert; die kurzwelligen Komponenten werden weiter außen reflektiert, die langwelligen Anteile hingegen tiefer im Spiegel. Dadurch werden die langwelligen Komponenten gegenüber den kurzwelligen Komponenten zeitlich verzögert. Auf diese Weise wird eine Dispersionskompensation insofern erhalten, als im Zeitbereich besonders kurze Pulse (vorzugsweise im Bereich von 10 Femtosekunden und darunter) ein breites Frequenzspektrum besitzen; dies führt dazu, daß die verschiedenen Frequenzkomponenten des Laserstrahls im Laserkristall 4, der wie erwähnt optisch nichtlinear ist, einen unterschiedlichen Brechungsindex "sehen", d.h. die optische Dicke des Laserkristalls 4 ist für die verschiedenen Frequenzkomponenten verschieden groß, und die verschiedenen Frequenzkomponenten werden daher beim Durchlaufen des Laserkristalls 4 verschieden verzögert. Diesem Effekt wird durch die genannte Dispersionskompensation an den Dünnschicht-Laserspiegeln M1 bis M7 begegnet.

Dabei ist es auch im Hinblick auf die geringen Verzögerungen pro Reflexion an einem Spiegel M1 bis M7 zweckmäßig bzw. erforderlich, einen vergleichsweise dünnen Laserkristall 4 zu verwenden, der andererseits zur Erzielung der gewünschten Wirkung eine hohe Dotierung aufweisen soll, wobei weiters der Pumpstrahl 3 und der Resonatorstrahl 8 möglichst stark zu fokussieren sind. Dies führt aber zu einer hohen Wärmebelastung des Laserkristalls 4.

Üblicherweise ist der Laserkristall an einem metallischen Kühlkörper montiert, welcher auf eine Temperatur von ca. 10 °C gekühlt wird. Eine Kühlung auf eine tiefere Temperatur ist jedoch wegen des Risikos einer dabei auftretenden Feuchte-Kondensation nicht möglich. Dies bedeutet aber wiederum, daß die Temperatur des Laserkristalls und insbesondere des gepumpten Volumens des Laserkristalls relativ hoch wird, ohne daß für eine entsprechende Abkühlung von Seiten des Kühlkörpers her gesorgt werden kann. Dies ist gerade im Fall der vorliegenden Laservorrichtung 1 deshalb problematisch, da wie erwähnt ein Laserkristall 4 mit kleinen Abmessungen und mit hoher Dotierung zu verwenden wäre, wobei zufolge der starken Fokussierung des Pumpstrahls 3 bzw. Resonatorstrahls 8 der Laserkristall 4 besonders hoch erhitzt wird.

Aus Fig.2 und 3 ist nun eine Anordnung mit einem Kühlkörper 10 und einer darauf angebrachten Kristallfassung 11 für den Laserkristall 4 (Fig.3) veranschaulicht. Der Kühlkörper 10, der beispielsweise aus Aluminium (schwarz eloxiert) bestehen kann, ist an sich herkömmlich und weist eine schräge obere Fläche 12 auf, an der eine Bohrung 13 für den Resonatorstrahl 8 bzw. Pumpstrahl 3 mündet.

Die Kristallfassung 11, die an sich auch einteilig mit dem Kühlkörper 10 ausgebildet sein könnte, ist bevorzugt ein gesonderter Bauteil, der insbesondere, wie auch aus Fig.5 und 6 ersichtlich ist, in Form eines Plättchens aus gut wärmeleitendem Metall, insbesondere Kupfer (Cu), ausgebildet ist, und der an der schrägen oberen Fläche 12 des Kühlkörpers 10 plan aufliegend angebracht ist. Dabei ist die Kristallfassung 11 mit einer schlitzförmigen Öffnung 14 zur Laserstrahl-Bohrung 13 ausgerichtet. In dieser schlitzförmigen, Einschnitt-artigen Öffnung 14 ist der Laserkristall 4 festgeklemt, wobei er seitlich an den Wänden 15, 16

(s. Fig.6) der plättchenförmigen Kristallfassung 11 flächig anliegt. Der obere Rand der Öffnung 14 ist angefast oder abgeschrägt, wie in Fig.5 und 6 bei 17 veranschaulicht ist. Dabei reicht die Abschrägung oder Fase 17 bis zur Oberseite des Laserkristalls 4 (Fig.2 und 3) in der Öffnung 14, wodurch dieser im Bedarfsfall leichter gereinigt werden kann.

Die Öffnung 14 endet innen in der Kristallfassung 11 in einer verbreiterten Rundung 18 unter Belastung eines z.B. ungefähr 1 mm dicken Steges 19, der die so erhaltenen Hälften oder Schenkel 20, 21 der Kristallfassung 11 miteinander in der Art eines "Scharniers" verbindet. Der Steg 19 ist dabei in gewissem Ausmaß verformbar, so daß die Schenkel 20, 21 relativ zueinander um das so durch den Steg 19 gebildete Gelenk etwas verschwenkt, d.h. zusammengespannt oder auseinandergespreizt, werden können. Das Metall der Kristallfassung 11, vorzugsweise Kupfer, läßt dabei die entsprechende Verformung des Steges 19 zum geringen Verschwenken der Schenkel 20, 21 zu. Auf diese Weise kann durch Zusammenspannen der Schenkel 20, 21 der Laserkristall 4 einfach in der schlitzförmigen Öffnung 14 eingespannt und kraftschlüssig festgehalten werden.

Zu diesem Einspannen bzw. Festklemmen weisen die Schenkel 20, 21 je eine Querbohrung 22, 23 auf (s. Fig.5), wobei die Querbohrung 22 im einen Schenkel 20 eine etwas größere, glatte Durchbohrung ist, wogegen die Querbohrung 23 im anderen Schenkel 21 eine Gewindebohrung ist. Diese Gewindebohrung 23 kann wie in Fig.5 dargestellt eine durchgehende Bohrung sein, sie könnte jedoch auch eine Sackbohrung sein, die nur zur Durchbohrung 22 hin offen ist. Durch die glatte Durchbohrung 22 wird eine als Spannelement dienende Spannschraube 24 (Fig.2) eingesetzt und in die Gewindebohrung 23 eingeschraubt, um so das Zusammenziehen der Schenkel 20, 21 zu bewerkstelligen.

Aus Fig.2 und 5 sind weiters Bohrungen bzw. Schrauben 25, 26 zum Befestigen der Kristallfassung 11 am Kühlkörper 10 ersichtlich, der entsprechende Gewindebohrungen 27, 28 (Fig.4) aufweist. Der Kühlkörper 10 kann weiters über seitliche Flanschen 29, 30, die mit Schraubenbohrungen 31, 32 versehen sind, an einem nicht näher dargestellten Halter oder dergl. mit Kühlmittelversorgung, wie an sich üblich, angebracht werden.

In Fig.7 ist schematisch die Wärmeableitung bei der vorliegenden Laservorrichtung gezeigt, wobei ersichtlich ist, daß im Laserkristall 4 außerordentlich kurze, durch Pfeile angegebene Wege für die Wärmeabfuhr vom gepumpten Volumen 33 im Inneren des Laserkristalls 4 bis zu den Seitenflächen des Laserkristalls 4 und damit den Seitenwänden 15, 16 der Bohrung 14 in der Kristallfassung 11 gegeben sind. Damit ergibt sich ein außerordentlich geringer Wärmewiderstand zwischen dem gepumpten Volumen 33 und den gekühlten Wänden 15, 16 bzw. Seitenflächen des Laserkristalls 4. Dadurch kann auch der Laserkristall 4 in seinem Inneren, im Bereich des gepumpten Volumens 33, problemlos auf einer ausreichend niedrigen Temperatur gehalten werden. Die kurzen Wege (s. Pfeile in Fig.7) für die Wärmeabfuhr im Laserkristall 4 sind von besonderer Bedeutung, da die Wärmeleitfähigkeit des Materials des Laserkristalls 4 vergleichsweise gering ist (die Wärmeleitfähigkeit k von Saphir (Wirtskristall für mit Titanium dotierten Titan-Saphir) beträgt bei 500 K: $k(500\text{ K}) = 25\text{ W/(mK)}$, und bei 300 K: $k(300\text{ K}) = 46\text{ W/(mK)}$).

In Fig.8 ist zu Vergleichszwecken eine herkömmliche Anordnung eines Laserkristalls 4' mit vergleichbarer Dicke, jedoch größerer Breite, in einem Kühlkörper 10' mit einer Bohrung 13' für den Laserstrahl angebracht. Mit gebogenen Pfeilen sind wiederum die Wege für die Wärmeableitung aus dem gepumpten Volumen 33 zu dem am Laserkristall 4' anliegenden entsprechenden Kühlflächen des Kühlkörpers 10' veranschaulicht. Es ist ersichtlich, daß bei einer derartigen Anordnung der gesamte Wärmewiderstand größer ist, da der Weg zwischen dem gepumpten Volumen 33 und den gekühlten Flächen größer ist. Dadurch ist jedoch die Ausgangsleistung des Lasers niedriger, und auch die Lebensdauer des Lasers ist infolge der höheren Temperaturen im Inneren des Laserkristalls 4', im Bereich des gepumpten Volumens 33, bei der bekannten Anordnung niedriger als bei der Anordnung gemäß Fig.2 bis 7.

Die Flächen der Kristallfassung 11, die in Kontakt mit dem Laserkristall 4 stehen, sind vorzugsweise zwecks guten Wärmeübergangs poliert. Weiters können an den Kontaktstellen, wo Wärmeübergänge stattfinden, wie insbesondere zwischen Kühlkörper 10 und Kristallfassung 11, gut wärmeleitende Pasten, wie an sich bekannt, verwendet werden. Anstatt solcher Wärmeleitpasten können auch Indiumfolien zur Erzielung eines guten Wärmeüberganges verwendet werden. Diese Indiumfolien sind weich und schmiegen sich so eng an die Kontaktflächen an, wobei eine große Wärmeübergangsfläche und ein guter Wärmeübergang erreicht werden.

Besonders bevorzugt wird eine derartige Indiumfolien-Zwischenlage im Bereich des Laserkristalls 4 und der Wände 15, 16 der den Laserkristall 4 aufnehmenden Öffnung 14, wie auch aus Fig.9 ersichtlich ist. Dabei sind auf beiden Seiten des Laserkristalls 4 zwischen diesem und den gekühlten Wänden 15, 16 der Öffnung 14 der Kristallfassung 11 Indiumfolien 34, 35 angebracht. Es handelt sich hierbei um ein weiches Metall, das Unebenheiten der Kristallflächen bzw. der Wände 15, 16 ausgleicht und so eine Verbesserung der Wärmeleitung erzielen läßt.

Patentansprüche

1. Kurzpuls-Laservorrichtung mit passiver Modenverkopplung, mit einem Laserresonator, dem ein Pumpstrahl zugeführt wird, mit einem Laserkristall, insbesondere einem Titan-Saphir-(Ti:S-)Laserkristall, und mit Laserspiegeln, wobei der Laserkristall, der zufolge der Strahlfokussierung einer Wärmebelastung ausgesetzt ist, an einem der Wärmeableitung dienenden Kühlkörper montiert ist, der eine Bohrung für den Durchgang des Laserstrahls aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß am Kühlkörper (10) eine Kristallfassung (11) aus gut wärmeleitendem Material vorgesehen und der Laserkristall (4) in einer Öffnung (14) dieser Kristallfassung (11), unter seitlicher Anlage an gegenüberliegenden Wänden (15, 16) der Öffnung (14) der Kristallfassung (11), gehalten ist, wobei die Öffnung (14) in der Kristallfassung (11) mit der Bohrung (13) im Kühlkörper (10) fluchtet.
2. Kurzpuls-Laservorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die insbesondere plättchenförmige Kristallfassung (11) mit einer schlitzförmigen Öffnung (14) ausgebildet ist.
3. Kurzpuls-Laservorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich die schlitzförmige Öffnung (14) von einem Rand der Kristallfassung (11) her in diese erstreckt.
4. Kurzpuls-Laservorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich die schlitzförmige Öffnung (14) bis knapp vor dem gegenüberliegenden Rand der plättchenförmigen Kristallfassung (11) erstreckt und das dort verbleibende Material des Plättchens ein gering verschwenkbares Gelenk (19) in der Art eines Scharniers bildet, wobei die beiden durch die schlitzförmige Öffnung (14) voneinander getrennten Kristallfassungshälften gegeneinander schwenkbare Schenkel (20, 21) bilden.
5. Kurzpuls-Laservorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die schlitzförmige Öffnung (14) durch einen in einer verbreiterten Rundung (18) endenden Einschnitt gebildet ist.
6. Kurzpuls-Laservorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schenkel (20, 21) in einer Richtung quer zur schlitzförmigen Öffnung (14) verlaufende Querbohrungen (22, 23) zum Aufnehmen eines die Schenkel (20, 21) gegeneinander verschwenkenden Spannelements (24) besitzen.
7. Kurzpuls-Laservorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Querbohrung (22) im einen Schenkel (20) eine glatte Durchbohrung mit Übermaß ist und die Querbohrung (23) im anderen Schenkel (21) mit einem Innengewinde versehen ist, und daß das Spannelement eine sich mit ihrem Schaft durch die glatte Durchbohrung (22) des einen Schenkels (20) frei hindurcherstreckende und in die Gewinde-Bohrung (23) des anderen Schenkels (21) eingeschraubte Spannschraube (24) ist.
8. Kurzpuls-Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Öffnung (14) der Kristallfassung (11) an der vorn Kühlkörper (10) abgewandten Seite einen abgeschrägten Rand (17) aufweist, wobei der Laserkristall (4) bis zur Abschrägung (17) reicht.
9. Kurzpuls-Laservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der in der Öffnung (14) der Kristallfassung (11) gehaltene Laserkristall (4) die Form eines Parallelepipedes mit Dickenabmessungen in der Größenordnung von ca. 1 mm und mit einer Länge von ca. 2 mm hat, wobei der Durchmesser des gepumpten Volumens (33) in der Größenordnung von 10 µm liegt.

Hiezu 7 Blatt Zeichnungen

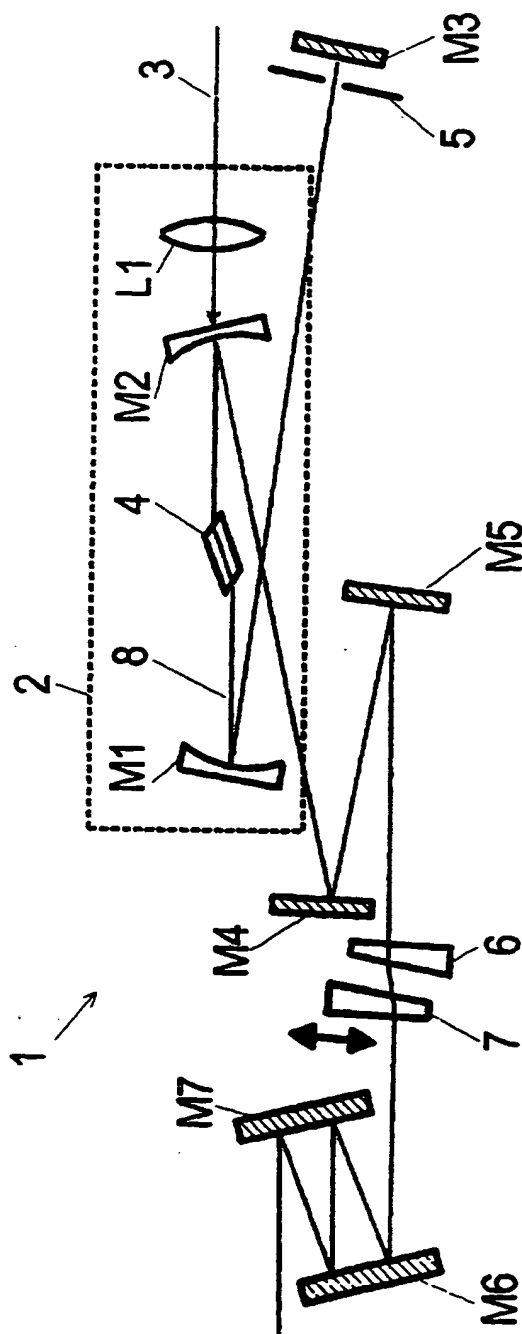
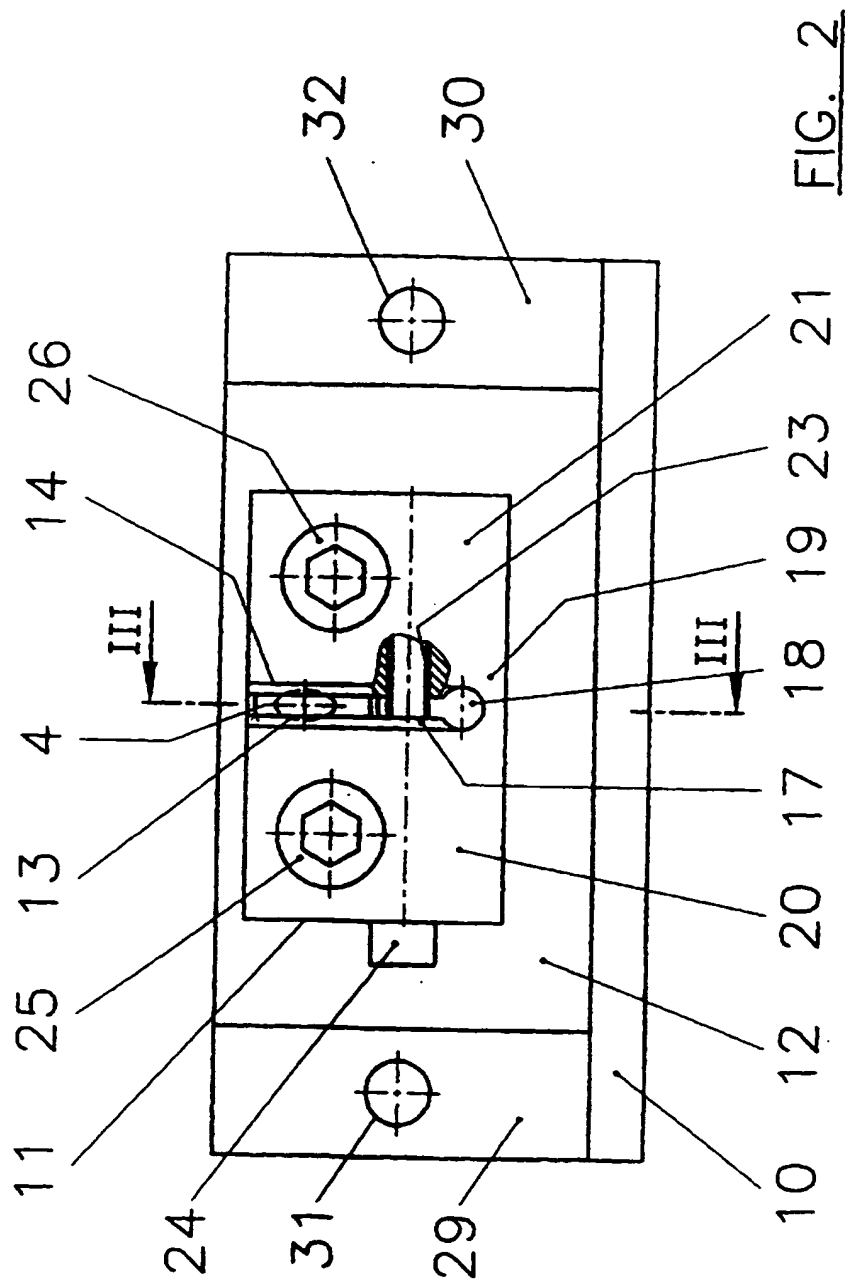


FIG. 1



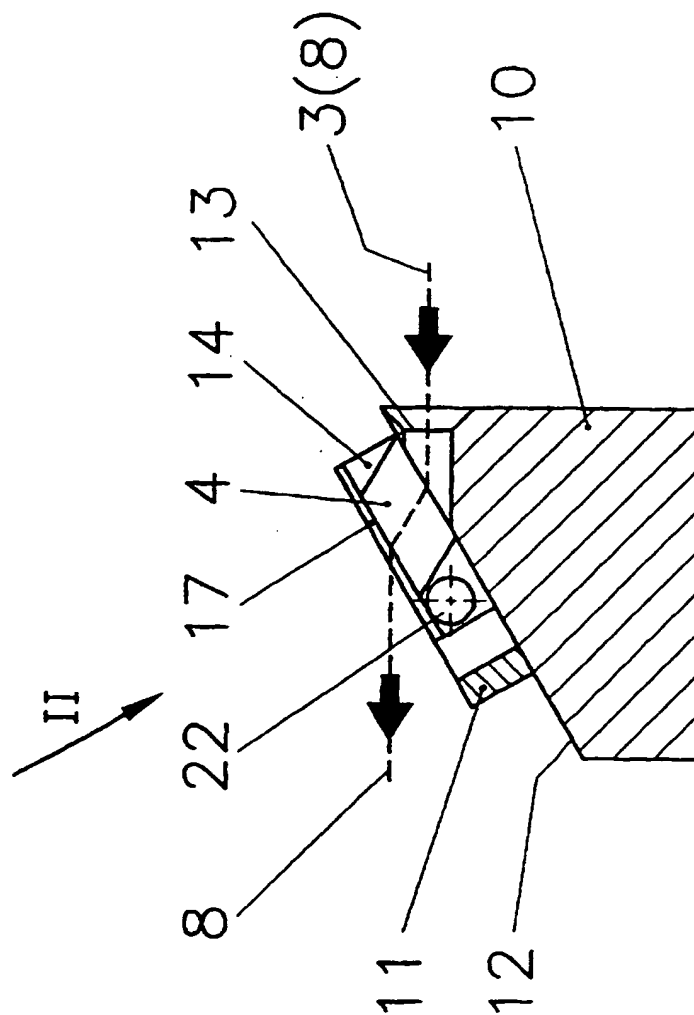


FIG. 3

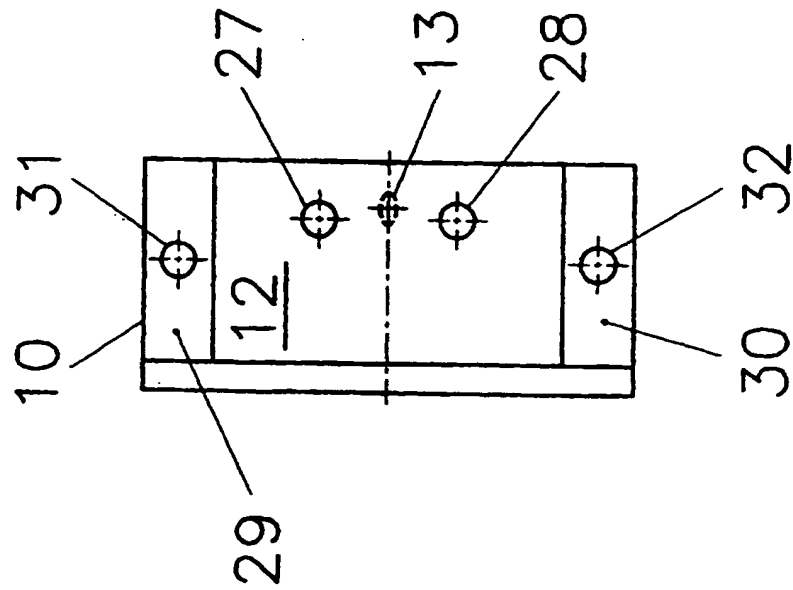
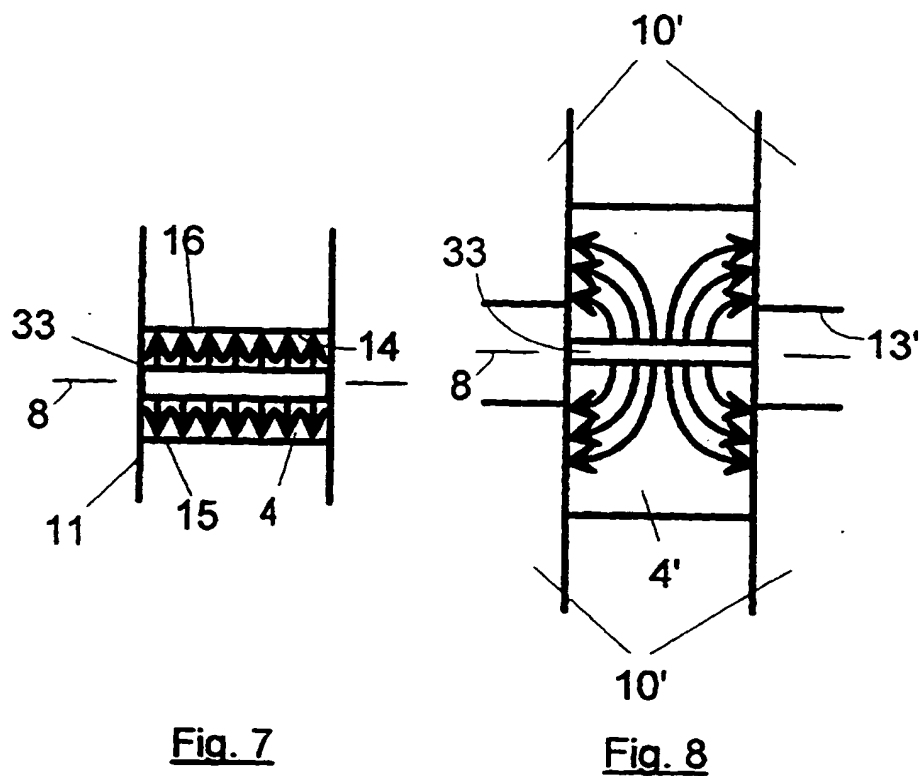
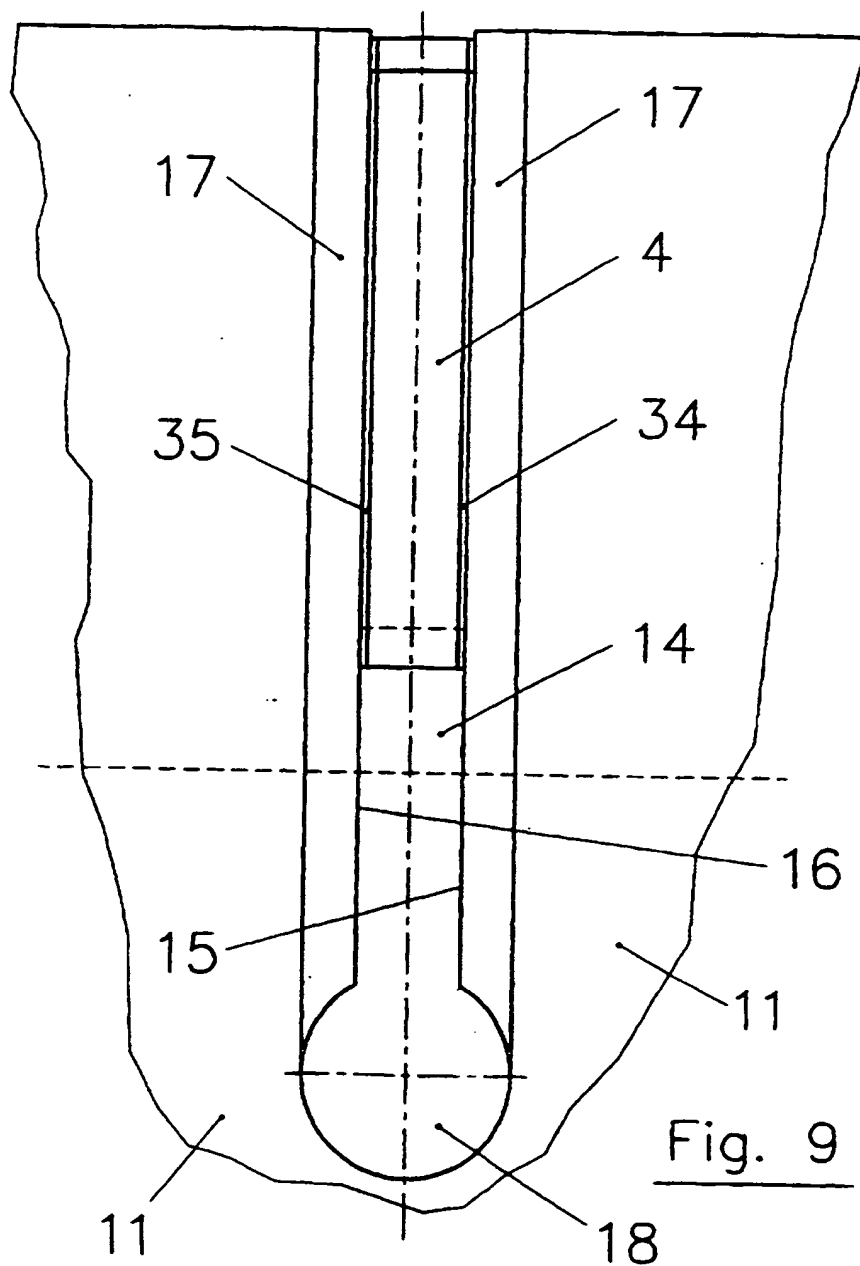


Fig. 4







**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.